

# **SISTEM KOMUNIKASI DIGITAL**

## **(3 SKS)**

IR.H.ARJUNI B.MT

DR. ENJANG A.JUANDA M.Pd.,MT

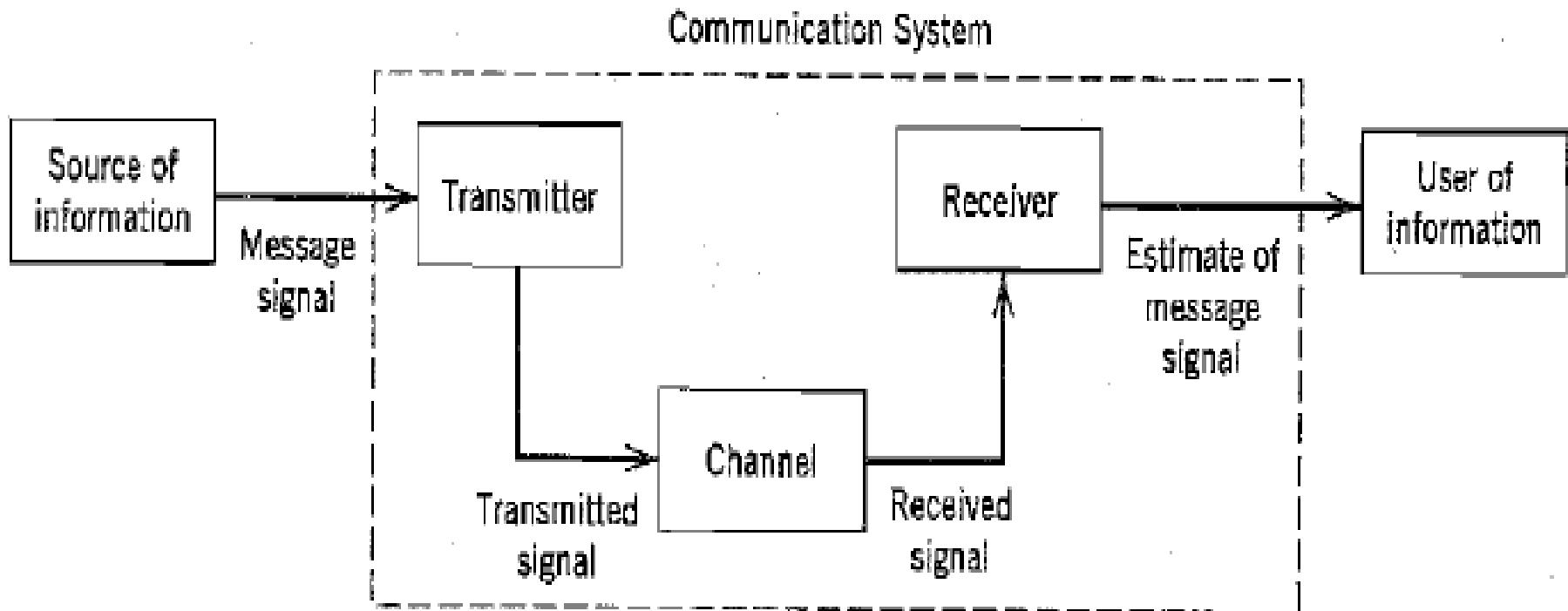
# SILABUS MATA KULIAH

- + Model dan elemen system komunikasi digital.
- + Informasi dan kapasitas kanal.
- + Konversi sinyal analog ke sinyal digital dan sebaliknya.
- + Transmisi sinyal pita dasar digital.
- + Modulasi digital.
- + Jenis gangguan pada transmisi digital.
- + Deteksi sinyal dalam lingkungan derau.
- + Sinkronisasi.
- + Sistem komunikasi spread spectrum.

# SUMBER RUJUKAN

1. Ziemer & Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum Systems*,
2. K. Sam Shanmugam, *Digital and Analog Communications Systems*, John Wiley & Sons, 1979
3. Simon Haykin, *An Introduction to Analog & Digital Communications*, John Wiley & Sons, 1989
4. Taub H, Schilling D., *Principles of Sommunications Systems*, Mc.Graw Hill

# ■ Model dan elemen system komunikasi digital.



Elements of a communication system.

# Communication

1. The generation of a *message signal*: voice, music, picture, or computer data.
2. The description of that message signal with a certain measure of precision, by a set of *symbols*: electrical, aural, or visual.
3. The *encoding* of these symbols in a form that is suitable for transmission over a physical medium of interest.
4. The *transmission* of the encoded symbols to the desired destination.
5. The *decoding* and *reproduction* of the original symbols.
6. The *re-creation* of the original message signal, with a definable degradation in quality; the degradation is caused by imperfections in the system.

## TRANSMITTED MESSAGE

## RECEIVED MESSAGE







**Sinusoidal and speech  
messages**

**Pseudo Random  
Sequence Generation  
& Gold Codes**

**Line codes: NRZ-L,  
NRZ-M, Uni-RZ, Bip-RZ  
RZ-AMI, Bi-Phase  
(Manchester), Dicode,  
Duobinary**

**PCM, companding**

**Block codes**

**Convolutional codes**

**Trellis: TCM encoding**

**SDH / SONET frames**

**DSP and CPLD  
implementations**

## **MODULATION**



**AM / DSB / SSB / ISB  
ASK, FSK  
BPSK, QPSK, 4/8/16-PSK  
QAM, 4/8/16-QAM  
Delta, Adaptive Delta  
Sigma Delta  
DPSK, MSK  
Multiplexing:  
TDM, FDM, PDM  
Spread Spectrum:  
DSSS, CDMA, FHSS  
PAM, PWM, PPM  
Sampling and aliasing  
Armstrong's phase  
modulator  
WB-FM, NB-FM  
DSP and CPLD  
implementations**



- + Noise
- + Distortion/non-linearity
- + Band limiting
- + SNR measurements
- + Filter characteristics
- + Fading Channel

**Baseband channel**

**Bandpass channel**

**Fiber Optic channel:  
WDM**

**Bidirectional comm's**

**Wireless antenna**

**T1/Ms Trunks channel**

**Ethernet link**

**DSP and CPLD  
implementations**

**Nyquist theorem**

**Shannon theorem**

## **DEMODULATION**



**Corresponding demodulator  
for each modulator**

**Envelopes**

**Product demodulation**

**LPF & reconstruction  
filters**

**Phasing of local oscillator**

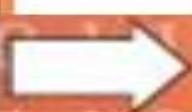
**Carrier Acquisition:**

**Costas Loop and PLL**

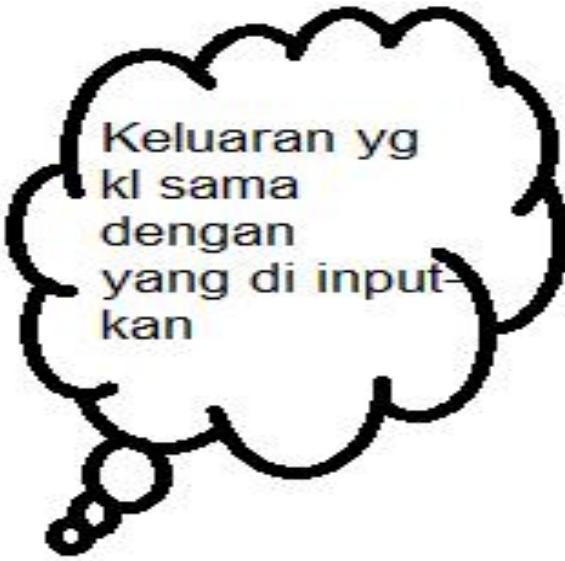
**Matched Filters**

**Superheterodyne**

## **DECODING**



**Corresponding decoder  
for each encoder**  
**Eye Patterns &  
decision thresholds**  
**Bit Error Rate vs  
SNR measurements**  
**Timing Jitter**  
**Equalization for ISI**  
**Baseline Wander**  
**Pulse shaping**  
**Constellations**  
**Synchronization:**  
    bit clock and frame  
**Bit Clock Regeneration**  
**Viterbi Algorithm**  
**DSP and CPLD**  
    implementations  
**System fault finding**



Keluaran yg  
kl sama  
dengan  
yang di input-  
kan

---

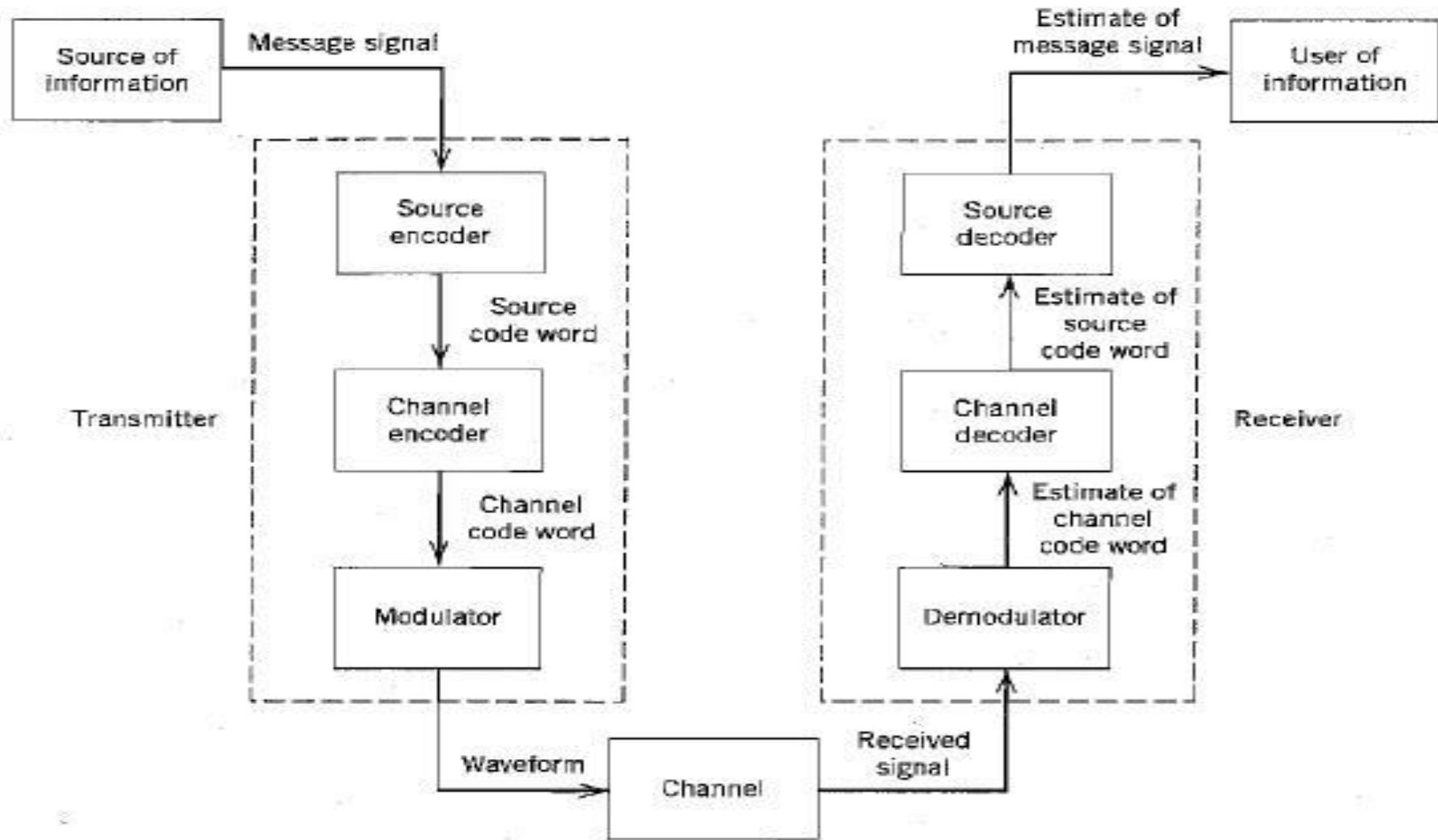
## **RECEIVED MESSAGE**

---

# Aplikasi Berbagai Mode Modulasi

Modulation format	Application
MSK, GMSK	GSM, CDPD
BPSK	Deep space telemetry, cable modems
QPSK, $\pi/4$ DQPSK	Satellite, CDMA, NADC, TETRA, PHS, PDC, LMDS, DVB-S, cable (return path), cable modems, TFTS
OQPSK	CDMA, satellite
FSK, GFSK	DECT, paging, RAM mobile data, AMPS, CT2, ERMES, land mobile, public safety
8, 16 VSB	North American digital TV (ATV), broadcast, cable
8PSK	Satellite, aircraft, telemetry pilots for monitoring broadband video systems
16 QAM	Microwave digital radio, modems, DVB-C, DVB-T
32 QAM	Terrestrial microwave, DVB-T
64 QAM	DVB-C, modems, broadband set top boxes, MMDS
256 QAM	Modems, DVB-C (Europe), Digital Video (US)

# Diagram Blok Sistem Komunikasi Digital



Block diagram of digital communication system.

# Kanal-kanal Komunikasi

1. Kanal Telepon. Disebut sebagai band limited channel. Bekerja baik (cukup untuk suara laki-laki/ perempuan) pada frekuensi 300 hingga 3100 Hz, akan tetapi dianggap dari 0 s/d 4 KHz. Sirkit telepon dikatakan sebagai Circuit Switching atau Dedicated Network, karena ciri utamanya harus bekerja tanpa ada interupsi/ penyelang. Kabel yang digunakan untuk ini biasanya twisted pairs. Sinyal telepon adalah tipe sinyal yg rentan terhadap EMI (ElectroMagenetic Interference), akan tetapi antara lain diatasi dengan cara memilin (twisting) kabel yang digunakannya. Impedansi karakteristiknya adalah  $90 - 110 \Omega$ .
2. Kabel Coaxial (Coax), terdiridari konduktor dalam dan konduktor bagian luar. Diantara keduanya dibatasi bahan dielektrik. Dengan bagian luar tembaga berbahan kaleng yang dipilin, maka ketahanan terhadap EMI lebih tinggi. Standar Band width-nya 10Mb/s, akan tetapi mampu 20Mb/s. Cocok untuk P2P dan CATV. Impedansi karakteristiknya adalah  $50 - 75 \Omega$ .
3. Kabel Fiber Optic, terbuat dari bahan dielektrik sebagai pembimbing gelombang (wave guide).

# Kapasitas Kanal

## Channel capacity

The channel capacity i.e. the maximum data transfer rate of the transmission channel can be determined from its bandwidth, by use of the following formula derived by Shannon.

$$C = 2B \log_2 M \text{ bps}$$

where  $C$  is the channel capacity,  $B$  is the bandwidth of the channel in hertz and  $M$  discrete levels are used for each signaling element.

In the special case where only two levels, 'ON' and 'OFF' or 'HIGH' and 'LOW' are used (binary),  $M = 2$ . Thus  $C = 2 B \log_2 2$  but  $\log_2 2 = 1$ , therefore  $C = 2 B$ . As an example, the maximum data transfer rate for a PSTN channel of bandwidth 3200 hertz carrying a binary signal would theoretically be  $2 \times 3200 = 6400$  Bps. In practice this figure is largely reduced by other factors such as the presence of noise on the channel to approximately 4800 Bps.

## CHANNEL CAPACITY

Shannon introduced the concept of *channel capacity*, the limit at which data can be transmitted through a medium. The errors in the transmission medium depend on the energy of the signal, the energy of the noise, and the bandwidth of the channel. Conceptually, if the bandwidth is high, we can pump more data in the channel. If the signal energy is high, the effect of noise is reduced. According to Shannon, the bandwidth of the channel and signal energy and noise energy are related by the formula

$$C = W \log_2(1 + S/N)$$

where

C is channel capacity in bits per second (bps)

W is bandwidth of the channel in Hz

S/N is the signal-to-noise power ratio (SNR). SNR generally is measured in dB using the formula

$$(S/N) \text{ dB} = 10 \log(\text{Signal power} / \text{Noise power})$$

The value of the channel capacity obtained using this formula is the theoretical maximum. As an example, consider a voice-grade line for which W = 3100Hz, SNR = 30dB (i.e., the signal-to-noise ratio is 1000:1)

$$C = 3100 \log_2(1 + 1000) = 30,894 \text{ bps}$$

So, we cannot transmit data at a rate faster than this value in a voice-grade line.

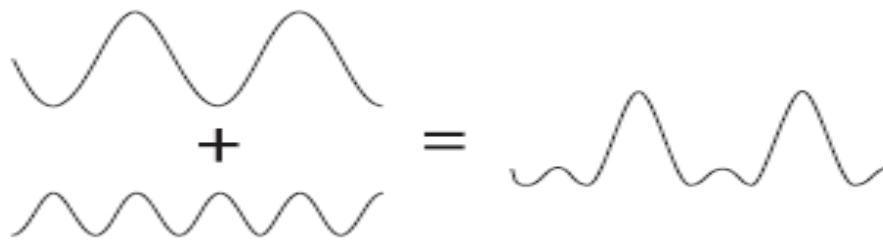
An important point to be noted is that in the above formula, Shannon assumes only thermal noise.

To increase C, can we increase W? No, because increasing W increases noise as well, and SNR will be reduced. To increase C, can we increase SNR? No, that results in more noise, called intermodulation noise.

The entropy of information source and channel capacity are two important concepts, based on which Shannon proposed his theorems.

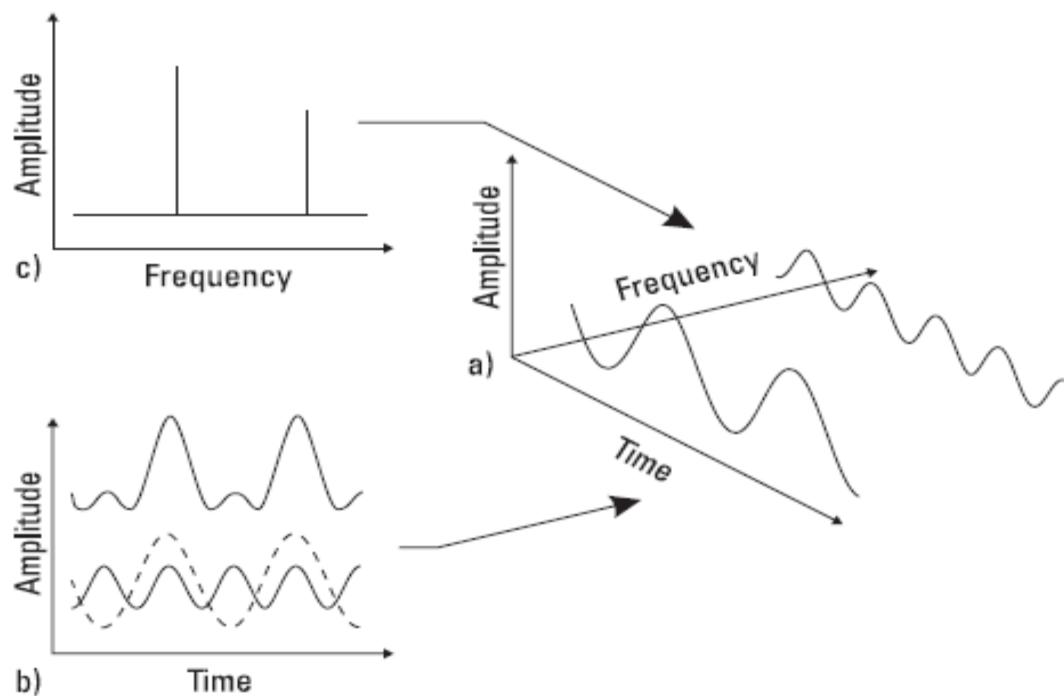
The bandwidth of the channel, signal energy, and noise energy are related by the formula  $C = W \log_2(1 + S/N)$  bps where C is the channel capacity, W is the bandwidth, and S/N is the signal-to-noise ratio.

**Any real waveform can be produced by adding sine waves together.**



The relationship between the time and frequency domains.

- a) Three-dimensional coordinates showing time, frequency and amplitude
- b) Time domain view
- c) Frequency domain view.



# Klasifikasi Sinyal Digital

---

Sinyal dapat diklasifikasikan berdasarkan Karakteristik variabel bebas, variabel tak bebas atau nilai sinyal, dan lain-lain

# Klasifikasi Sinyal Digital

---

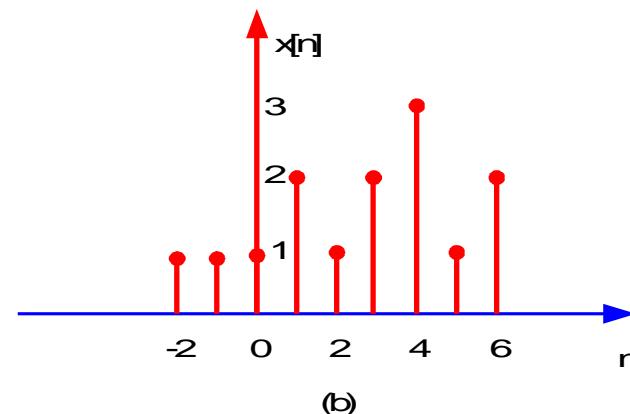
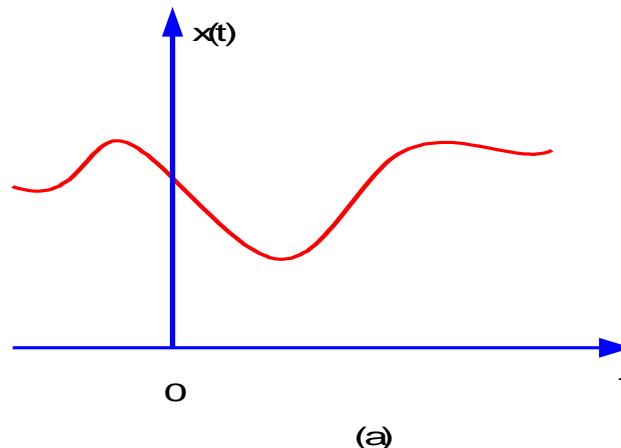
## Jenis-Jenis Klasifikasi Sinyal

- ☀ **Sinyal Waktu Kontinyu-Sinyal Waktu Diskrit**
- ☀ **Sinyal Analog-Sinyal Digital**
- ☀ **Sinyal Riil-Sinyal Kompleks**
- ☀ **Sinyal Deterministik-Sinyal Acak**
- ☀ **Sinyal Periodik-Sinyal Nonperiodik**
- ☀ **Sinyal Energi-Sinyal Daya**

# Klasifikasi Sinyal Digital

## 1. Sinyal Waktu Kontinyu – Waktu Diskrit

- $x(t)$  disebut sinyal waktu kontinyu, jika  $t$  merupakan variabel kontinyu.
- $x(t)$  disebut sinyal waktu diskrit , jika  $t$  merupakan variabel diskrit.



Gambar Klasifikasi Sinyal - 1

# Klasifikasi Sinyal Digital

- Representasi Sinyal Waktu Diskrit
- Menggunakan rumus atau fungsi :

$$x[n] = x_n = \begin{cases} \left(\frac{1}{5}\right)^n & n \geq 0 \\ 0 & n < 0 \end{cases}$$

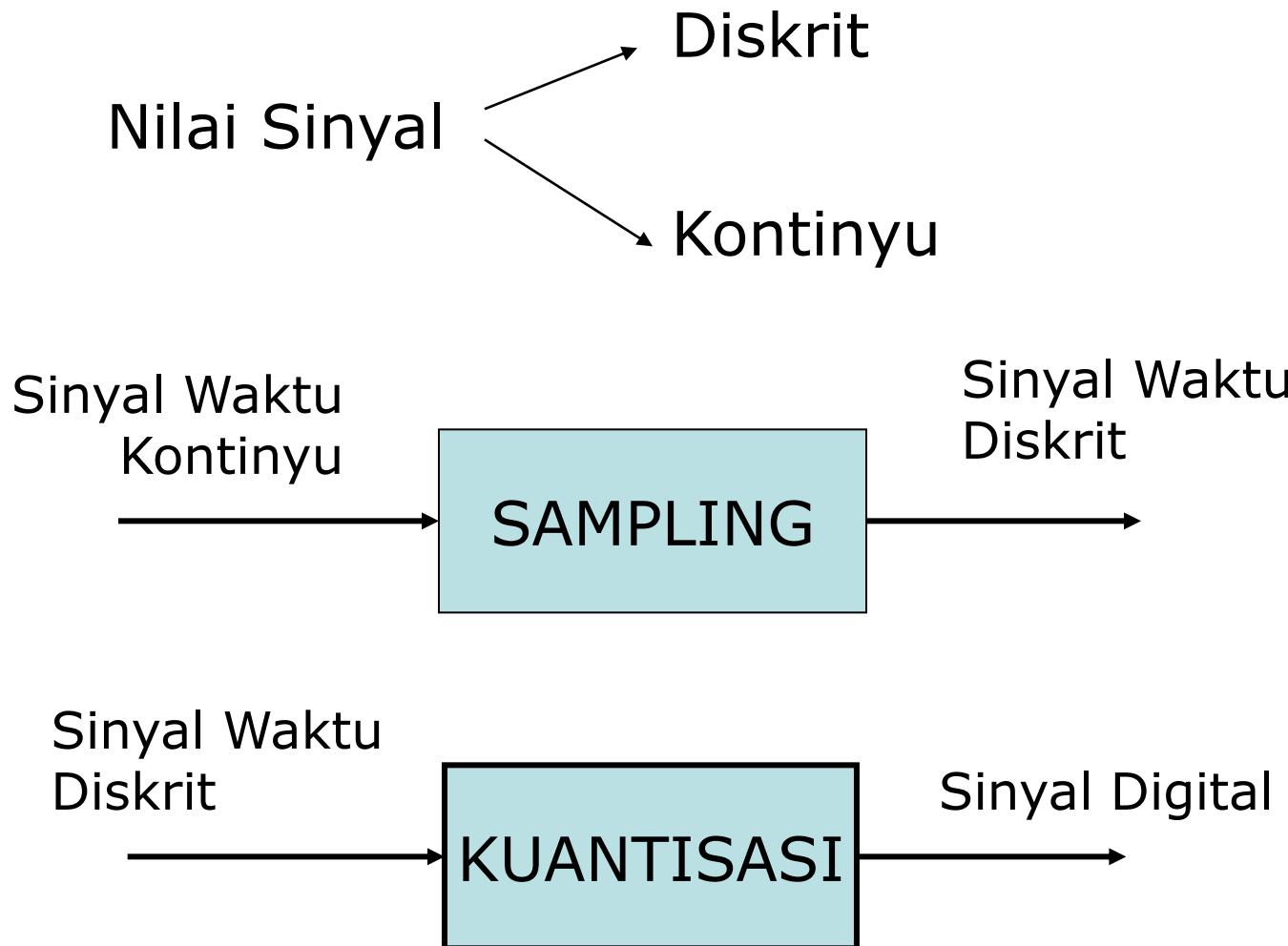
- Menggunakan daftar nilai dari sekuen :

$$\{x_n\} = \{\dots, 1, 1, 1, 2, 1, 2, 3, 1, 2, \dots\}$$



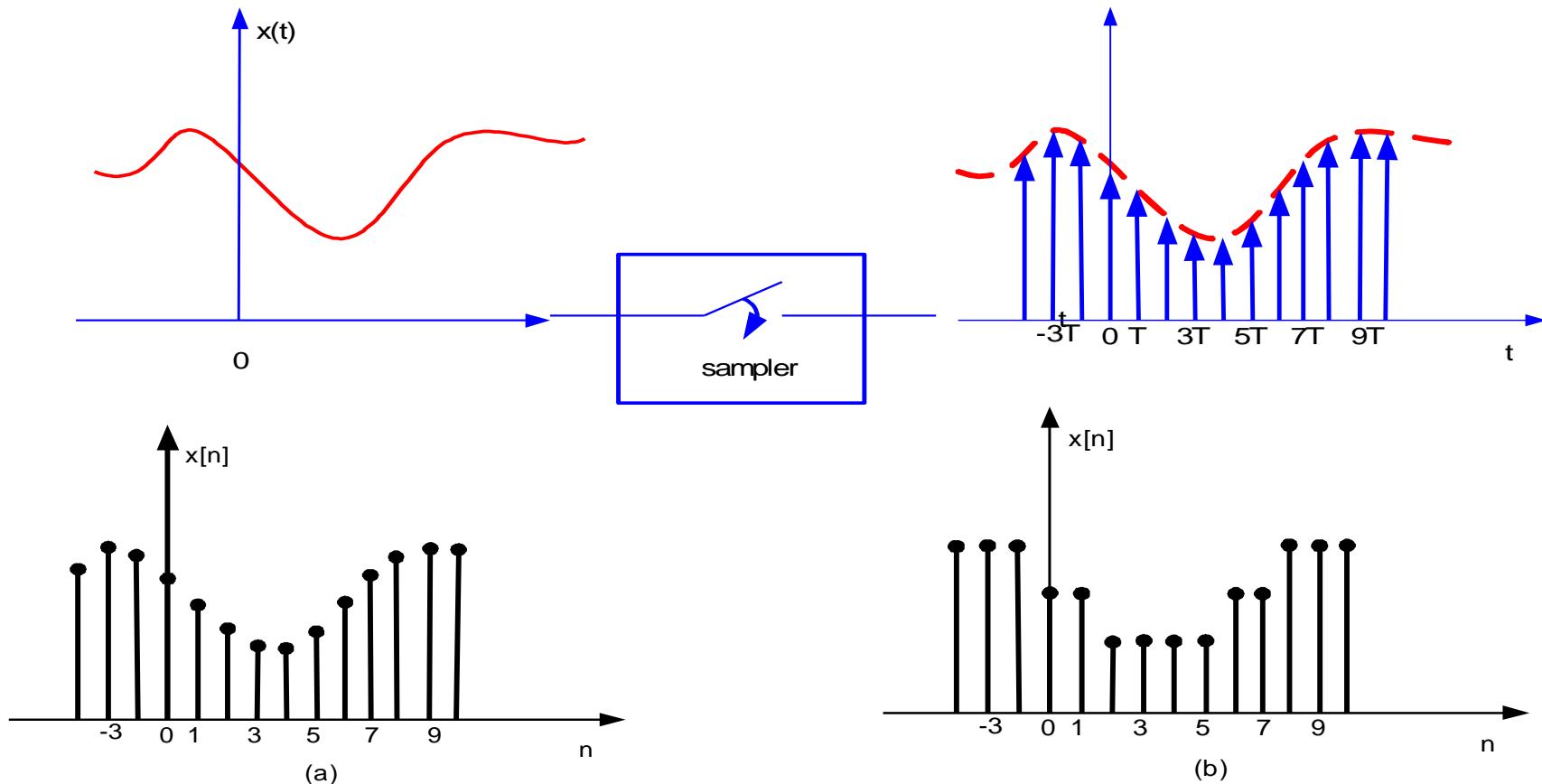
# Klasifikasi Sinyal Digital

## 2. Sinyal Analog – Digital



# Klasifikasi Sinyal Digital

## ► Sinyal Tersampel - Sinyal Digital



Gambar Klasifikasi Sinyal - 2

# Klasifikasi Sinyal Digital

---

## ► Sinyal Kontinyu-Diskontinyu

Sinyal Diskontinyu di  $t_1$  jika :

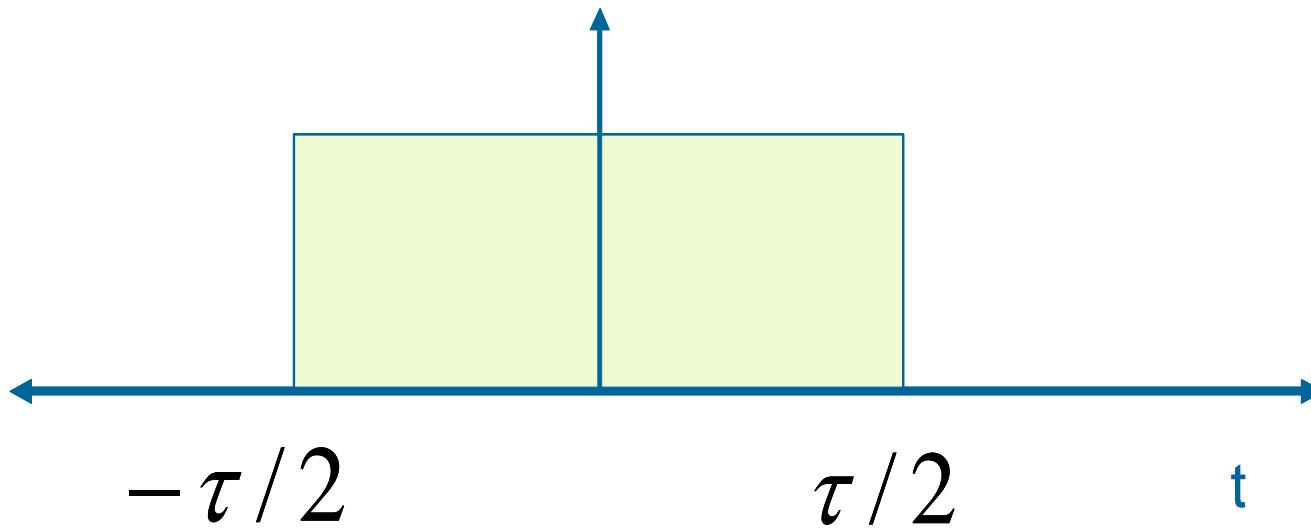
$$x(t_1^-) \neq x(t_1^+)$$

Jika sinyal  $x(t)$  amplitudonya kontinyu untuk semua  $t$ , kecuali pada beberapa titik, maka sinyal  $x(t)$  disebut **kontinyu persegmen persegmen** (*piecewise continuous*).

# Klasifikasi Sinyal Digital

## ► Sinyal Persegi

$$rect(t/\tau) = \begin{cases} 1, & |t| < \tau/2 \\ 0, & |t| > \tau/2 \end{cases} \quad \text{Klasifikasi Sinyal - 1}$$



Gambar Klasifikasi Sinyal - 3

# Klasifikasi Sinyal Digital

---

## ► Nilai Sinyal di Titik Diskontinyu

Nilai Sinyal di titik diskontinyu  $t_1$

= Nilai rata-rata di titik  $t_1$

$$x(t_1) = \frac{1}{2} \left\{ x(t_1^+) + x(t_1^-) \right\}$$

Klasifikasi Sinyal - 2

## 3. Sinyal Riil – Kompleks

- ☀ Sinyal riil : jika nilainya merupakan bilangan riil.
- ☀ Sinyal kompleks : jika nilainya merupakan bilangan kompleks.

$$x(t) = x_1(t) + jx_2(t)$$

$$x[n] = x_1[n] + jx_2[n]$$

## 4. Sinyal Deterministik – Acak

### **Sinyal Deterministik :**

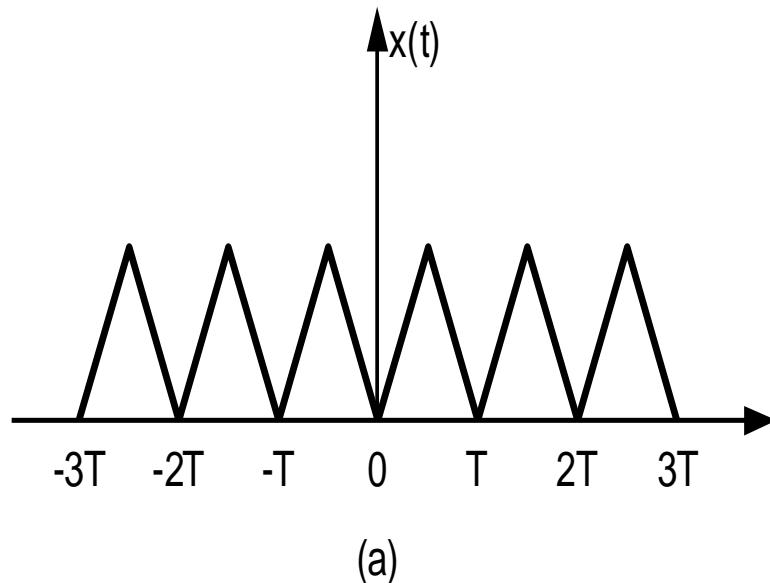
- nilainya secara lengkap diketahui.
- dapat dimodelkan dengan menggunakan fungsi waktu yang diketahui secara pasti.

### **Sinyal Acak :**

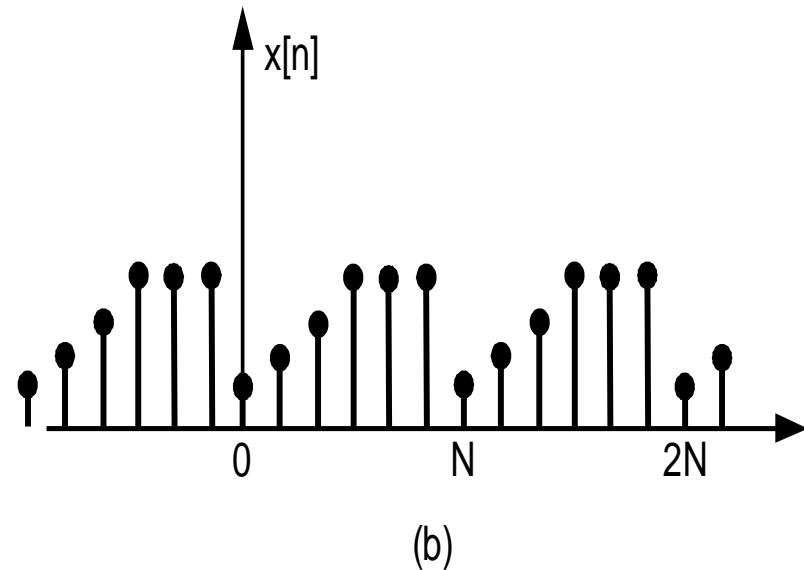
- nilainya acak / random.
- dicirikan secara statistik.

# Klasifikasi Sinyal Digital

## 5. Sinyal Periodik – Nonperiodik



$$x(t + T) = x(t)$$



$$x[n + N] \neq x[n]$$

**Gambar Klasifikasi Sinyal - 4**

# Klasifikasi Sinyal Digital

## ► Penjumlahan Sinyal Periodik

Tinjau Sinyal

$$z(t) = ax(t) + by(t)$$

dimana  $x(t) = x(t + kT_1)$

$$y(t) = y(t + mT_2)$$

maka

$$z(t) = z(t + T)$$

$$= ax(t + kT_1) + by(t + mT_2)$$

# Klasifikasi Sinyal Digital

## ► Syarat Penjumlahan Periodik

Agar Periodik, maka

$$T = kT_1 = mT_2 \quad \longrightarrow \quad \frac{T_1}{T_2} = \frac{m}{k}$$

Jadi syarat agar penjumlahan dua sinyal periodik menghasilkan sinyal periodik adalah rasio periodanya berupa bilangan rasional.

## 5. Sinyal Energi – Daya

$$E = \lim_{L \rightarrow \infty} \int_{-L}^L |x(t)|^2 dt \quad \text{Klasifikasi Sinyal - 3}$$

$$P = \lim_{L \rightarrow \infty} \left[ \frac{1}{2L} \int_{-L}^L |x(t)|^2 dt \right] \quad \text{Klasifikasi Sinyal - 4}$$

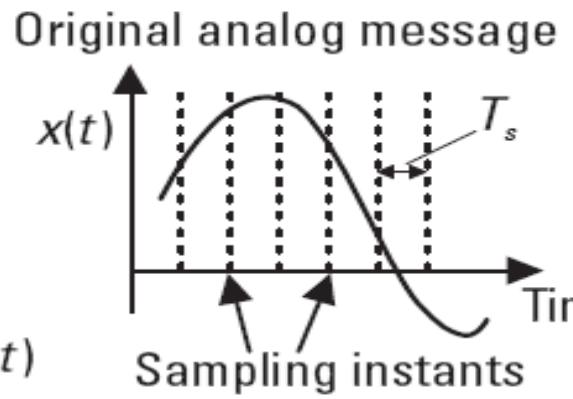
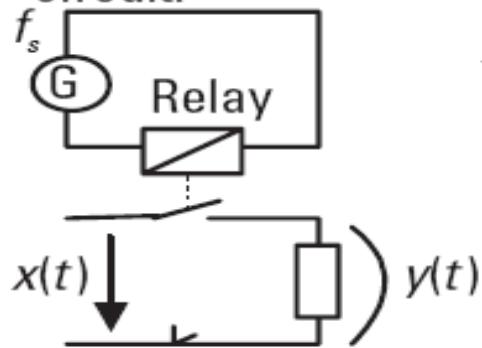
**Sinyal Daya :  $0 < P < \infty$**

**Sinyal Energi :  $0 < E < \infty$**

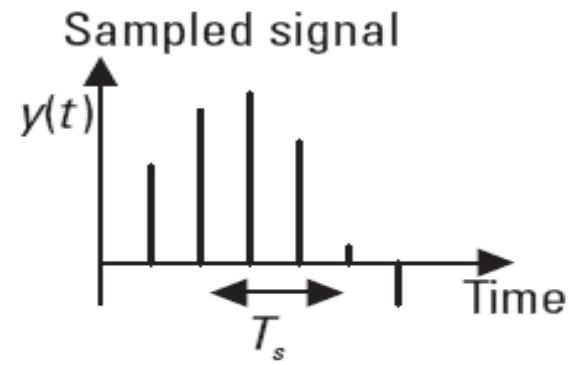
# Sampling, Kuantisasi, dan Coding

## Sampling

Operation principle  
of a sampling  
circuit:

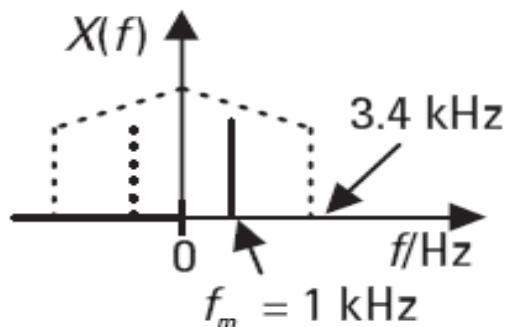


Time domain:

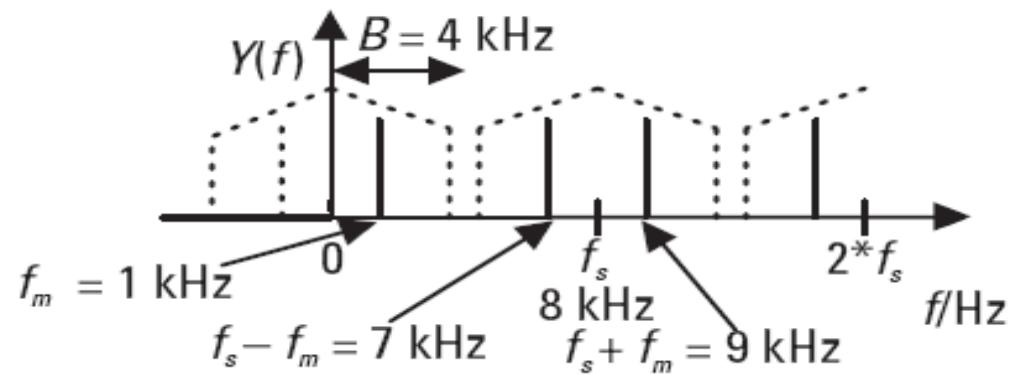


Frequency domain:

Spectrum of an analog message

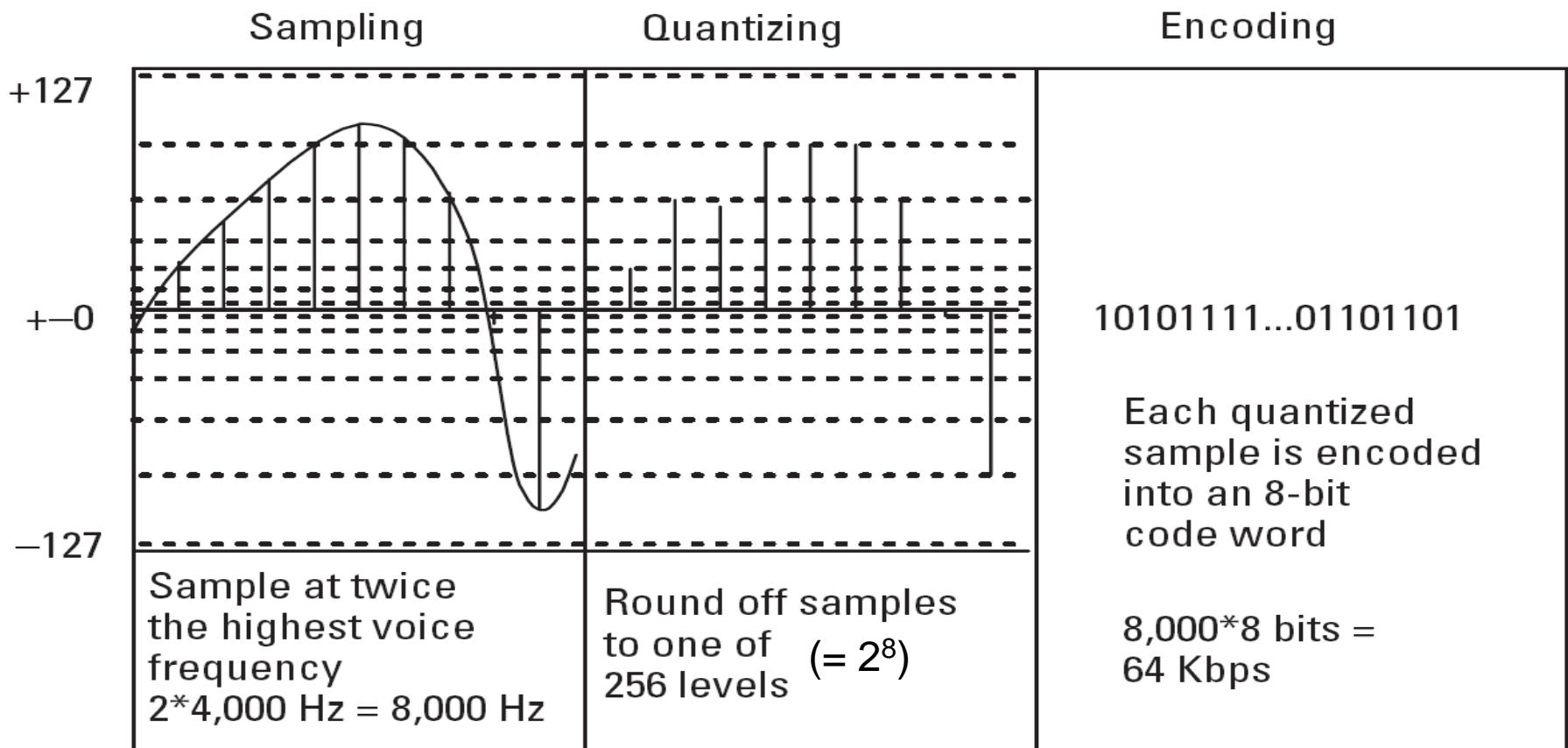


Spectrum of sampled signal



# **Sampling, Kuantisasi, dan Coding**

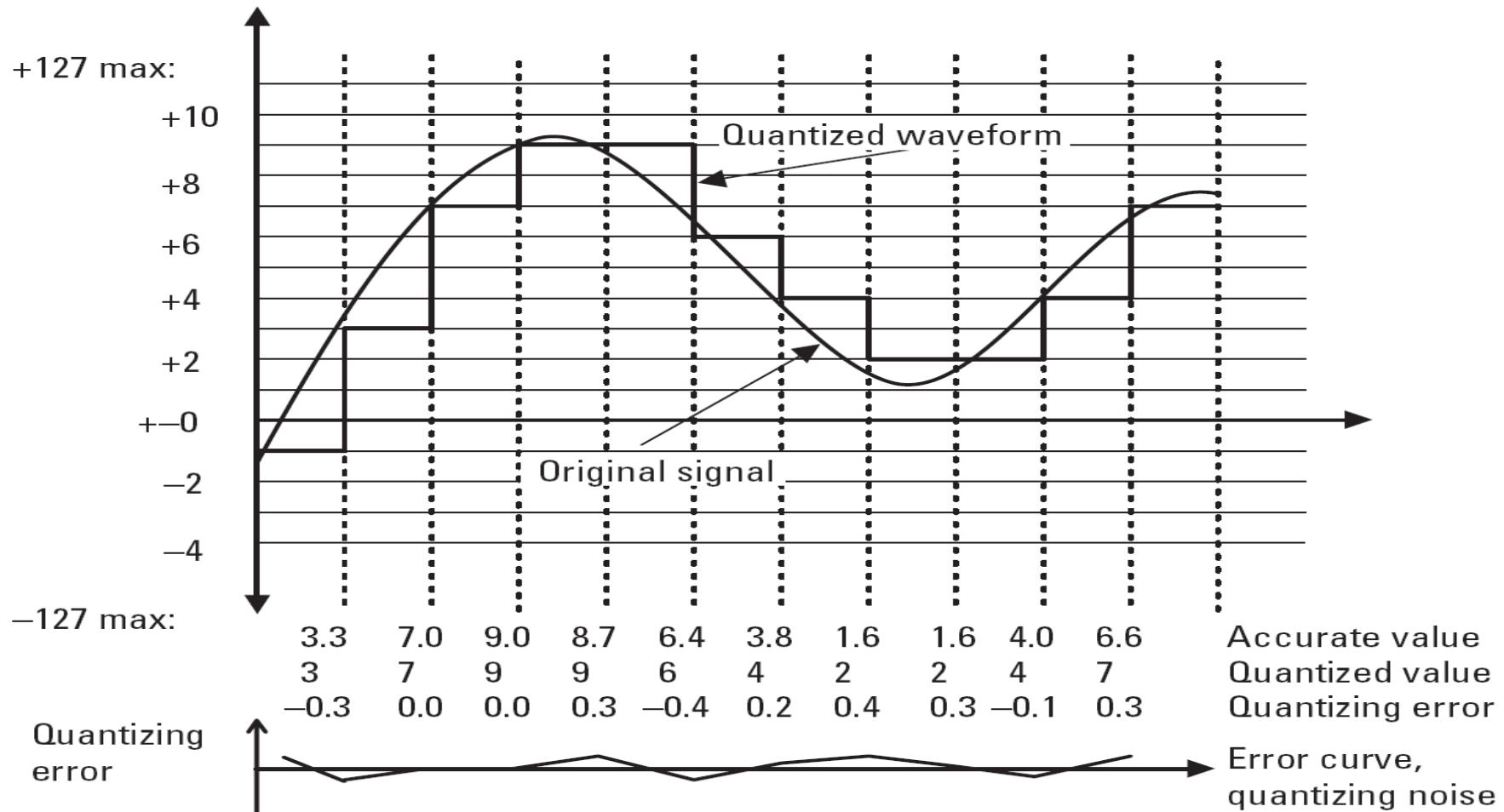
# *Sampling, Kuantisasi, Encoding*



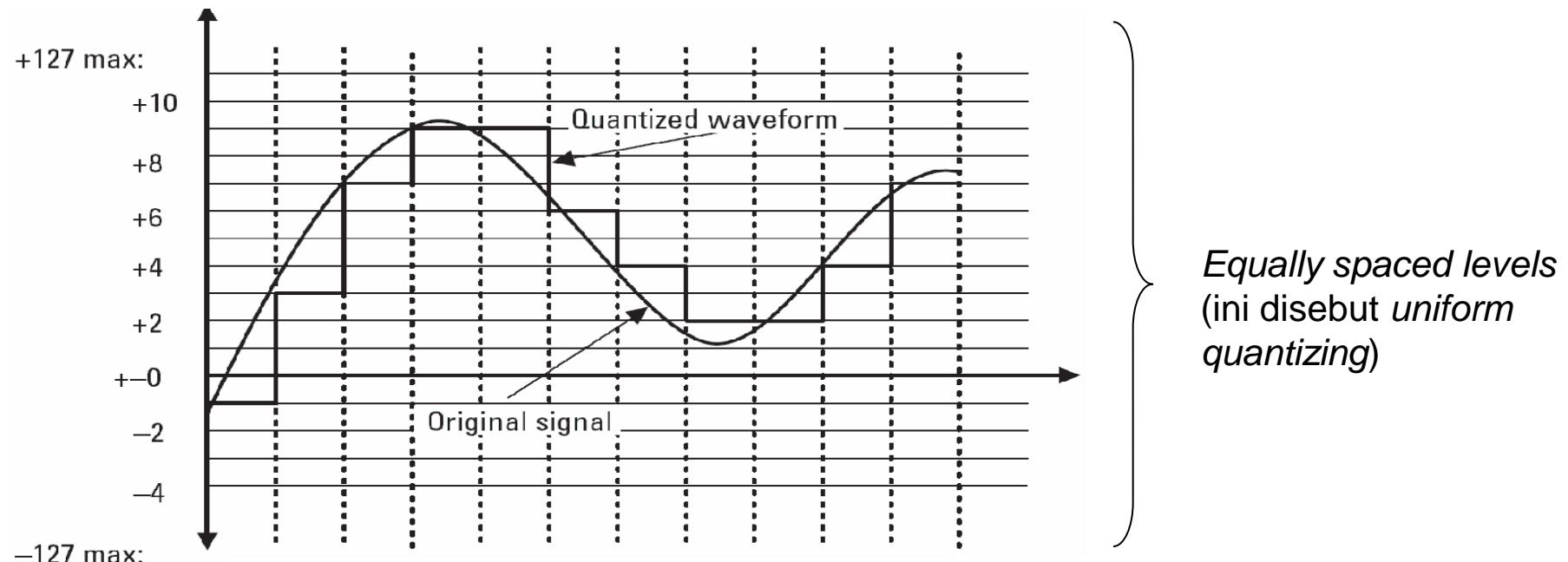
(Note: untuk CD digunakan 16-bit binary words (ada  $2^{16} = 65536$  level)

# Sampling, Kuantisasi, dan Coding

## A Closer Look to Quantization



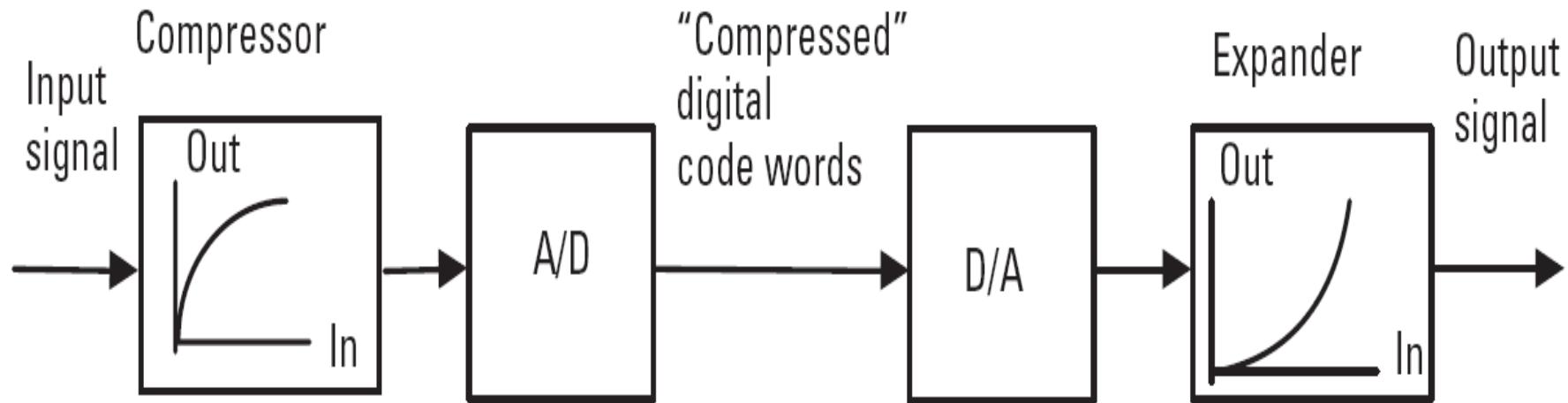
# Sampling, Kuantisasi, dan Coding



- Bila menggunakan **uniform quantizing**, **noise** kuantisasi akan sangat terasa pada sinyal-sinyal ber**level** rendah.
- Solusi untuk menanggulangi **noise** kuantisasi adalah dengan menambah jumlah **level**, tetapi akibatnya **bit rate** hasil pengkodean akan menjadi lebih tinggi.
- Solusi elegan yang ditempuh adalah dengan tidak menambah jumlah **level**, melainkan dengan membedakan kerapatan **level**.
- **Level** kuantisasi pada sinyal-sinyal rendah lebih rapat daripada untuk sinyal ber**level** tinggi.
- Hal ini dilakukan dengan mengkompress (**compressing**) sinyal di sumber.
- Di tujuan dilakukan proses dekompress (**expanding**).
- Proses **compressing** dan **expanding** disebut **companding**.

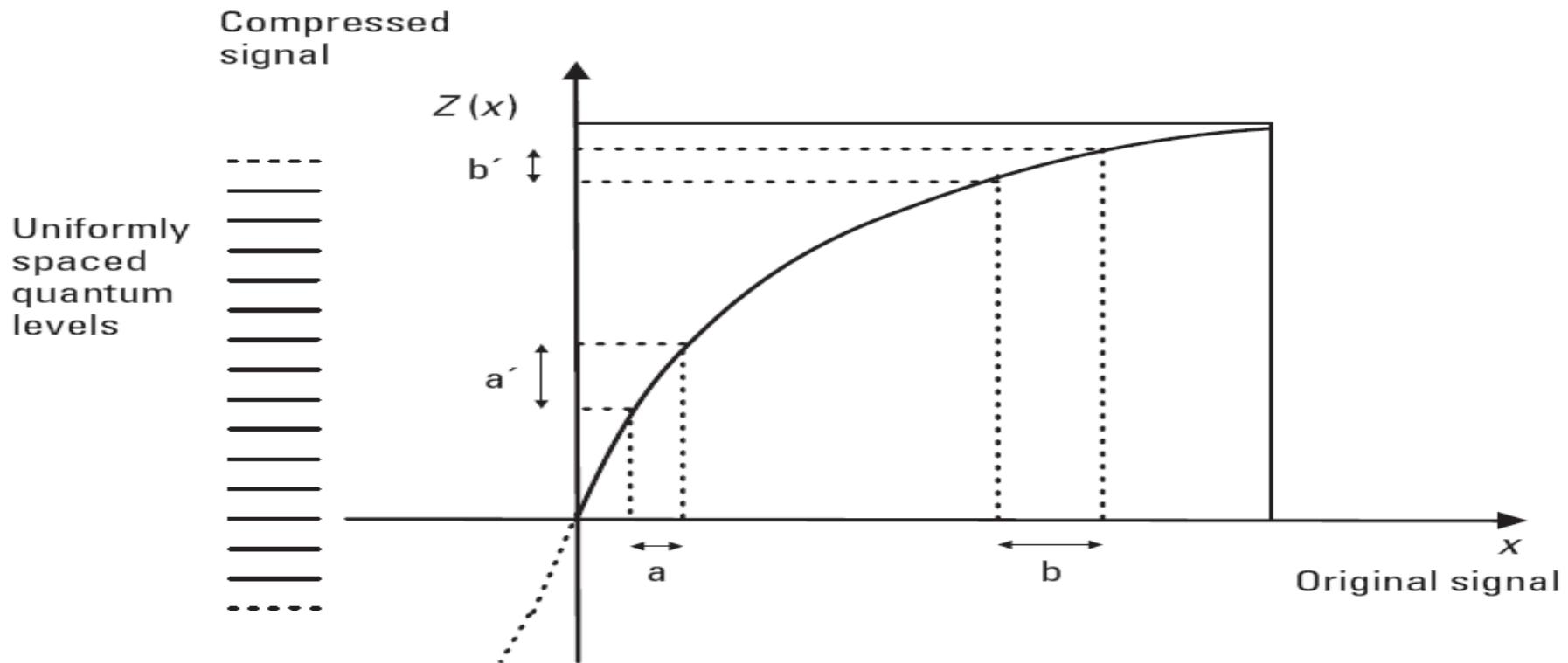
# Sampling, Kuantisasi, dan Coding

## Companding



# Sampling, Kuantisasi, dan Coding

## Companding



Dua kurva *companding* standard:

- A-law, digunakan di negara2 Eropa (Rec. ITU-T G.732)
- $\mu$ -law, digunakan di Amerika Utara dan Jepang (Rec. ITU-T G.733)

# Sampling, Kuantisasi, dan Coding

## Companding

μ-Law →  $Z(x) = \text{sgn}(x) \cdot \frac{\ln(1 + \mu|x|)}{\ln(1 + \mu)}$

x : nilai sinyal

Z(x) : sinyal ter-kompress

sgn(x) : polaritas x (+ atau -)

μ : konstanta = 255

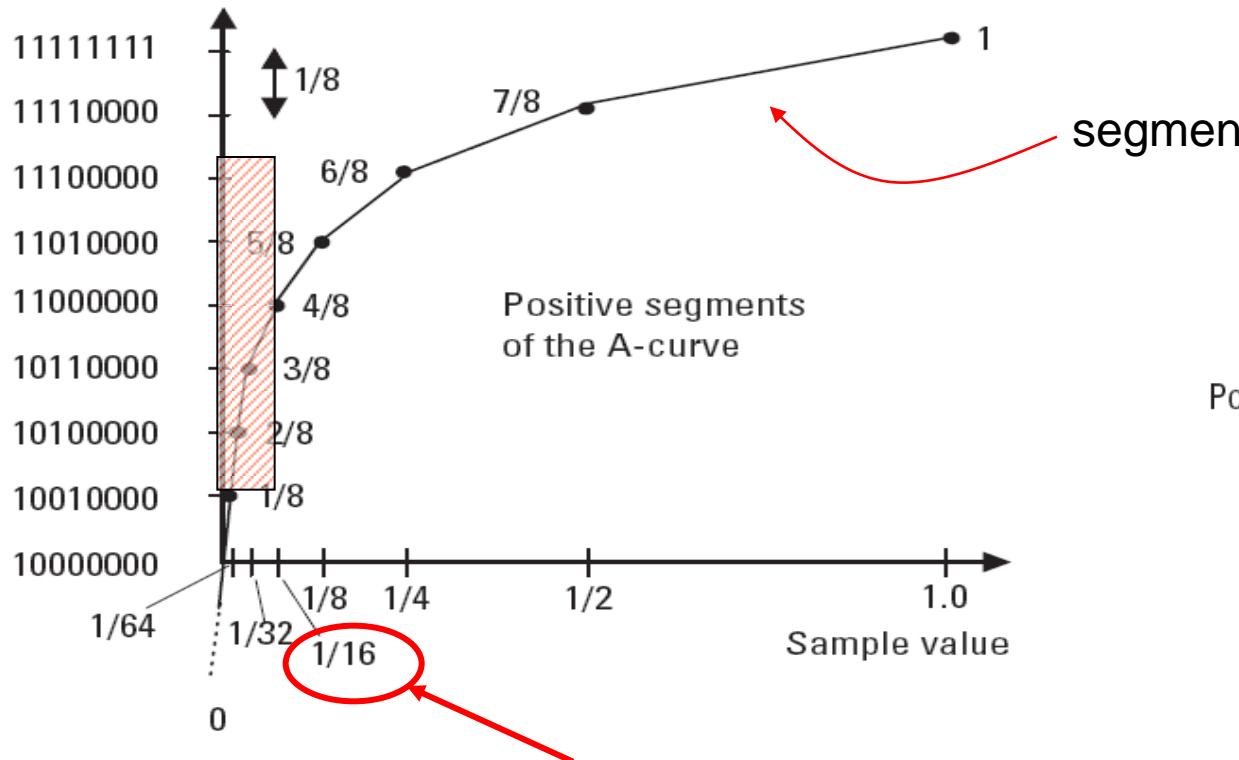
A-Law →  $Z(x) = \begin{cases} \text{sgn}(x) \cdot \frac{1 + \ln A|x|}{1 + \ln A} & \text{for } \frac{1}{A} < |x| < 1 \\ \frac{Ax}{1 + \ln A} & \text{for } \frac{-1}{A} < x < \frac{1}{A} \end{cases}$

A : konstanta = 87,6

# **Sampling, Kuantisasi, dan Coding**

**Binary Coding** (Menentukan bit-bit biner yang merepresentasikan sinyal voice)

- Contoh untuk kurva A-law



Setengah dari jumlah level diperuntukkan bagi sinyal yang levelnya lebih rendah dari 6,25% level sinyal maksimum

# Sampling, Kuantisasi, dan Coding

---

## Klasifikasi *voice coding*

- Secara umum, teknik untuk melakukan *voice coding* dapat dibagi ke dalam dua katagori:
  - *Waveform coding*.
  - Vocoder (*voice coder*).
- Pada *waveform coding*, *voice* digital yang dihasilkan berasal dari pengolahan gelombang sinyal *voice* (*voice waveform*) secara langsung.
  - Contoh: PCM.
- Pada vocoder, *voice* digital yang dihasilkan memanfaatkan karakteristik *voice* (bukan betul-betul berasal dari sinyal *voice*-nya sendiri).
  - Misalnya kita telah mempunyai beberapa model sinyal *voice* yang masing-masing diidentifikasi oleh kode. Sinyal *voice* yang akan kita digitalkan dibagi ke dalam segmen-semen yang durasinya 50 ms (misalnya). Untuk setiap segmen kita pilih model yang paling mendekati (sintesa) lalu mengirimkan kode (yang mengidentifikasi model yang sudah dipilih) ke tujuan. Di penerima, decoder akan membangkitkan sinyal yang sesuai dengan kode yang diterima.
  - Keunggulan dibanding *waveform coding*:
    - Mengurangi ukuran *file voice* digital (data *rate* rendah).
  - Kelemahan : ada tambahan *delay processing* dan biasanya kualitasnya lebih rendah daripada *waveform coding*.
    - *Delay processing* yang panjang menyebabkan beberapa teknik vocoder memerlukan *echo canceller* (misalnya pada GSM coder).
- *Hybrid coding*: gabungan antara teknik *waveform coding* dan vocoder (mengkombinasikan kelebihan kedua teknik tersebut).

# Sampling, Kuantisasi, dan Coding

## Klasifikasi *voice coding*

- Contoh *waveform coding*.
  - PCM
    - Bitrate 64 kbps 
  - ADPCM (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*)
    - Dulu: ITU-T G.721: bit rate 32 kbps
    - Sekarang : ITU-T G.726: bit rate 40, 24 dan 16 kbps, juga 32 kbps 
- Contoh vocoder
  - 13kb/s GSM 06.10 RPE-LTP  (*hybrid coding*)
  - 4.8kb/s FED-STD 1016 CELP
  - Qualcomm QCELP (IS-96a) 
  - 13kb/s Qualcomm QCELP
  - 2.4kb/s FED-STD-1015 LPC-10

## Klasifikasi *voice coding*

- Kualitas hasil teknik pendigitalan sinyal voice dinilai menggunakan dua metoda:
  - *Metoda objective*
    - Paramater-parameter teknik pengkodean diukur.
      - Misalnya: delay pengkodean, bit rate dsb.
  - *Metoda subjective*
    - Kualitas diukur berdasarkan persepsi pendengar.
      - *Mean Opinion Score (MOS)*.

# **Sampling, Kuantisasi, dan Coding**

---

## **Klasifikasi *voice coding***

- Nilai MOS dihasilkan dengan cara merata-ratakan hasil penilaian sejumlah pendengar terhadap audio yang dihasilkan oleh teknik *voice coding*.
- Setiap pendengar diminta untuk menilai kualitas suara menggunakan skema rating sbb:

<b>MOS</b>	<b>Quality</b>	<b>Impairment</b>
5	Excellent	Imperceptible
4	Good	Perceptible but not annoying
3	Fair	Slightly annoying
2	Poor	Annoying
1	Bad	Very annoying

# Sampling, Kuantisasi, dan Coding

## Klasifikasi voice coding

